



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

JÚLIA EUDÓCIA DE ARAÚJO MONTEIRO

INFLUÊNCIA DA TEXTURA E UMIDADE DO SOLO NO
EFLUXO DE C-CO₂ EM ENCOSTAS SOB PASTAGEM

AREIA- PB
2018

JÚLIA EUDÓCIA DE ARAÚJO MONTEIRO

**INFLUÊNCIA DA TEXTURA E UMIDADE DO SOLO NO EFLUXO DE C-CO₂
EM ENCOSTAS SOB PASTAGEM**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia da
Universidade Federal da Paraíba, Centro
de Ciências Agrárias, em cumprimento
às exigências para a obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Prof. Dr^a. Vânia da Silva Fraga
Orientador (a)

Ms. Tiago de Carvalho Pessoa
Co-orientador

**AREIA- PB
2018**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M775i Monteiro, Júlia Eudócia de Araújo.

INFLUÊNCIA DA TEXTURA E UMIDADE DO SOLO NO EFLUXO DE
C-CO₂ EM ENCOSTAS SOB PASTAGEM / Júlia Eudócia de
Araújo Monteiro. - Areia-PB, 2018.
35f. : il.

Orientação: Vânia da Silva Fraga.

Coorientação: Tiago de Carvalho Pessoa.

Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. granulometria do solo. 2. precipitação pluvial. 3.
posições de relevo. 4. efluxo. 5. C-CO₂. I. Fraga,
Vânia da Silva. II. Pessoa, Tiago de Carvalho. III.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

JÚLIA EUDÓCIA DE ARAÚJO MONTEIRO

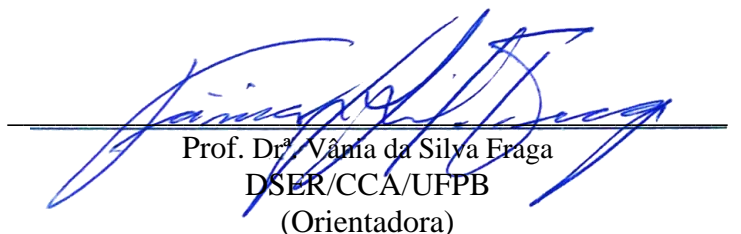
**INFLUÊNCIA DA TEXTURA E UMIDADE DO SOLO NO EFLUXO DE C-CO₂
EM ENCOSTAS SOB PASTAGEM**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia da
Universidade Federal da Paraíba, Centro
de Ciências Agrárias, em cumprimento
às exigências para a obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

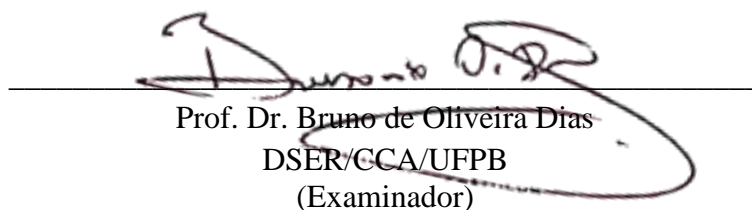
Aprovado em 04 de dezembro de 2018:

Nota:

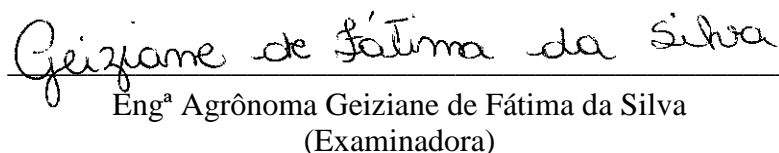
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vânia da Silva Fraga
DSER/CCA/UFPB
(Orientadora)



Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
DSER/CCA/UFPB
(Examinador)



Engª Agrônoma Geiziane de Fátima da Silva
(Examinadora)

*A Deus por cuidar de mim e sempre ouvir minhas orações, me mostrando que
Seus planos são perfeitos, e que tudo tem seu tempo.*

*A Nossa Senhora da Guia por sempre estar comigo, iluminando meus caminhos e
me livrando dos maus caminhos.*

*Aos meus pais, Francisca e Leônidas, meu irmão, Leo, que estão sempre me
apoando e acreditando na realização dos meus sonhos.*

*Aos meus avós, Francisco, Inácia e Eudóxia, que me colocam sempre em suas
orações desejando que sempre aconteça o melhor em minha vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e sempre segurar minha mão quando eu achava que estava sozinha, sei que o Senhor nunca me abandonou;

Aos meus pais, que mesmo longe, estavam presentes nos momentos de dificuldade, me apoiando sem deixar que eu desistisse dos meus sonhos, meu amor por vocês é sem limites;

Aos meus avós, Dona Inácia e Seu Chico, por ser minha fortaleza, sempre preocupados com minha felicidade, vocês são meu maior tesouro;

Ao meu irmão e minha Madrinha Maria por sempre me fazerem rir quando eu estava triste, amo muito vocês;

Ao amor da minha vida, João Felipe, que não me deixa desistir de nada, sempre dizendo que sou capaz de enfrentar os obstáculos mais difíceis, por torcer pelo meu sucesso, você é a luz dos meus dias, te amo;

A minha sogra e sogro, Dona Vera e Seu João por me acolherem como filha e estarem sempre presente em minha vida;

A toda minha família, tias, tios, primos pelos momentos de alegria e por festejarem a realização dos meus sonhos;

Ao meu amigo e companheiro, Severino por me fazer rir quando eu estava chorando e por me mostrar que sou capaz de conseguir enfrentar os desafios da vida, por mais difíceis que eles possam parecer;

A minha companheira de análises e amiga da vida inteira Geizi por aturar minhas longas conversas e me ajudar quando preciso;

A Universidade Federal da Paraíba pela formação e oportunidades cedidas ao longo desta jornada;

Aos meus professores queridos, Prof. Vânia e Prof. Bruno, por serem meus pais longe de casa, obrigada pelas conversas, desabafos e por estarem sempre disponíveis nos momentos que mais preciso;

A toda a equipe do Laboratório de Matéria Orgânica, pelos ensinamentos e oportunidade de crescimento profissional;

As amigadas que fiz ao longo da graduação, Lucy, Vanessa, Ruanna, Angelita, Silvana, Kadson, Gilmar, Izabela, por todos os momentos maravilhosos que vivemos, desejo todo sucesso do mundo a vocês.

Ao meu amigo João Carlos, por ter me ajudado a escolher o rumo da minha vida acadêmica, no momento em que eu estava perdida e desanimada.

EPÍGRAFE

*“Só eu sei cada passo por mim dado
nessa estrada esburacada que é a vida,
passei coisas que até mesmo Deus duvida,
fiquei triste, capiongo, aperreado,
porém nunca me senti desmotivado,
me agarrava sempre numa mão amiga,
e de forças minha alma era munida
pois do céu a voz de Deus dizia assim:
- Suba o queixo, meta os pés, confie em Mim,
vá pra luta que Eu cuido das feridas.”*

Bráulio Bessa

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1. Efluxo de CO ₂	15
3.2. Influência da umidade do solo nas emissões de C-CO ₂	16
3.3. Influência da textura na emissão de CO ₂	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1. Caracterização da área de estudo	18
4.2. Classificação e divisão das encostas	18
4.3. Caracterização física e química do solo.....	20
4.5. Efluxo de C-CO ₂	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
6. CONCLUSÕES.....	30
7. REFERÊNCIAS	30

RESUMO

A respiração do solo é resultante da oxidação biológica da matéria orgânica e do desenvolvimento do sistema radicular das plantas, estas atividades estão diretamente ligadas a umidade, temperatura, estrutura e textura do solo, o efluxo de CO₂ seria a emissão dos gases gerados pela respiração do solo para a atmosfera. Em áreas declivosas as características físicas e químicas podem variar de acordo com sua declividade, com isso o relevo também se torna um dos fatores determinantes para os valores de emissão de CO₂. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efluxo de C-CO₂ do solo em três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) de duas encostas sob pastagem de Braquiária (*Urochloa decumbens*) com diferentes idades (uma encosta sob pastagem com 20 anos de uso, e uma encosta sob pastagem com 2 anos de uso). O experimento foi realizado na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, localizada entre os municípios de Areia/PB e Remígio/PB. Foram coletadas amostras de solo para análises físicas e quantidade de água acumulada em cada posição, e foi avaliado o efluxo de C-CO₂, em cada uma delas ao longo do tempo. Para análise dos dados foi utilizado um esquema fatorial 3x17 para a encosta 1 e 3x15 para a encosta 2 que correspondem as duas encostas, uma encosta sob pastagem de 20 anos e uma encosta sob pastagem de 2 anos, três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) e a quantidade de avaliações do efluxo realizadas em cada encosta, com três repetições, totalizando 306 amostras. O efluxo de CO₂ foi avaliado mensalmente, durante 13 meses, pela quantidade de CO₂ liberado da superfície do solo, durante 24 horas, e capturado em 40 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH 1 Mol L⁻¹), contidos em um recipiente dentro de câmaras estáticas, através da captura do dióxido de carbono (CO₂) dentro de câmaras estáticas, por 40 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 Mol L⁻¹ contidos dentro de um recipiente durante 24 horas. Os valores médios do efluxo de C-CO₂ foram correlacionados com os valores de umidade do solo, onde se observou que no pedimento estão presentes os maiores valores de efluxo de C-CO₂ e os menores de umidade do solo, devido sua classificação textural ser arenosa o que facilita a emissão de gases e diminui a retenção de água, é possível observar também que nas posições onde houve excesso de água acumulada houve uma queda no efluxo. Concluiu-se que entre as posições das encostas, a que apresentou os maiores valores de emissão de C-CO₂ foi o pedimento, nas duas encostas sob pastagem, e que a textura do solo é um fator determinante para o efluxo de C-CO₂.

Palavras Chave: Granulometria do Solo, Precipitação pluvial, Posições do Relevo.

ABSTRACT

The soil respiration is the result of biological oxidation of organic matter and the development of the root system of plants, these activities are directly linked to moisture, temperature, structure and texture of the soil, the efflux of CO₂ would be the emission of Gases generated by the respiration of the soil into the atmosphere. In declivous areas the physical and chemical characteristics may vary according to their slope, with this the relief also becomes one of the determinant factors for the CO₂ emission values. Therefore, the objective of this study was to evaluate the soil C-CO₂ efflux in three relief positions (shoulder, half slope and pediment) of two slopes under *Brachiaria* Pasture (*Urochloa decumbens*) with different ages (one hillside under pasture with 20 years of use, and A hillside under pasture with 2 years of use). The experiment was carried out in the Cow Brava watershed, located between the municipalities of Areia/PB and Remígio/PB. Soil samples were collected for physical analysis and quantity of water accumulated in each position, and the efflux of C-CO₂ was evaluated in each of them over time. For data analysis, a 3x17 factorial scheme was used for Slope 1 and 3x15 for Slope 2 that correspond to the two slopes, a slope under 20 years of pasture and a hillside under pasture of 2 years, three positions of relief (shoulder, half slope and pediment) And the amount of efflux assessments performed on each slope, with three replications, totaling 306 samples. CO₂ Efflux was evaluated monthly for 13 months by the amount of CO₂ released from the soil surface for 24 hours, and captured in 40 ML of a sodium hydroxide solution (NaOH 1 Mol L⁻¹), contained in a container within static chambers, by capturing carbon dioxide (CO₂) within static chambers, by 40 mL of a sodium hydroxide solution (NaOH) at 1 Mol L⁻¹ contained within a container for 24 hours. The mean values of the C-CO₂ efflux were correlated with the soil moisture values, where it was observed that the highest values of C-CO₂ efflux and the lower soil moisture levels were found in the pediment, due to its textural classification being sandy, which Facilitates the emission of gases and decreases water retention, it is also possible to observe that in the positions where there was excess water accumulated there was a decrease in efflux. It was concluded that among the positions of the slopes, the one that presented the highest emission values of C-CO₂ was the pediment, on the two slopes under pasture, and that the soil texture is a determinant factor for the efflux of C-CO₂.

Keywords: Soil granulometry, pluvial precipitation, relief positions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Posições do relevo na topossequência (Santos et al., 2002).....	19
Figura 2. Efluxo de C-CO ₂ e umidade do solo em diferentes posições ao longo da Encosta 1.	25
Figura 3. Efluxo de C-CO ₂ e umidade do solo em diferentes posições ao longo da Encosta 2.	26
Figura 4. Teores de areia, silte e argila presentes nos solos da Encosta 1 e Encosta 2 e valores médios de efluxo de CO ₂ em cada posição.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Declividade do relevo em cada posição avaliada, nas duas encostas.....	20
Tabela 2. Atributos físicos do solo, na camada de 0-20cm de profundidade, nas posições do ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas com pastagens de diferentes idades de estabelecimento.....	23
Tabela 3. Caracterização química do solo na camada de 0-20cm de profundidade, nas posições de ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas com pastagens de diferentes níveis de estabelecimento.....	24
Tabela 4. Correlação entre as variáveis efluxo C-CO ₂ e umidade do solo das encostas 1 e 2 sob pastagem a 20 anos e a 2 anos, respectivamente.....	27
Tabela 5. Comparação entre médias de umidade do solo e efluxo de C-CO ₂ para três posições em encostas.....	28
Tabela 6. Comparação entre médias de efluxo de C-CO ₂ e textura do solo (areia, silte e argila) para três posições em encostas.....	28

1. INTRODUÇÃO

A respiração do solo corresponde a oxidação biológica da matéria orgânica em CO₂ por microrganismos aeróbicos, com isso a avaliação da respiração do solo é a técnica mais utilizada para quantificação da atividade microbiana do solo (ALEF, 1995). A atividade biológica se concentra principalmente nas primeiras camadas do solo onde, após a decomposição da matéria orgânica serão disponibilizados os nutrientes às plantas (KENNEDY e DORAN, 2002), além disso, os microrganismos podem ser sensíveis indicadores da qualidade do solo possuindo a capacidade de respostas rápidas a partir de mudanças na qualidade do solo, o que não acontece com os fatores físicos e químicos (POWLSON et al. 1997).

A atividade dos microrganismos presentes no solo está diretamente ligada com a umidade, temperatura, estrutura e textura do solo que em conjunto, influenciam diretamente na respiração do solo (SILVA et al., 2010). O efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo, também atribuído como respiração do solo, é resultado da respiração autotrófica, proveniente do sistema radicular das plantas, e heterotrófica, que provém da atividade microbiana, sendo considerado o principal fluxo de carbono de ecossistemas terrestres para a atmosfera (RYAN E LAW, 2005). Diversos fatores bióticos e abióticos controlam o efluxo de CO₂, podendo ser considerados como principais a disponibilidade de água e a temperatura do solo (VINCENT et al. 2006).

O dióxido de carbono (CO₂) é produzido principalmente nos primeiros 10 cm da superfície do solo, através da atividade microbiana, decomposição aeróbica da matéria orgânica e respiração do sistema radicular das plantas (D'ANDRÉA et al., 2010), no Brasil as maiores emissões de CO₂ são causadas pela mudança no uso da terra e pela agricultura, chegando a 75% das emissões de CO₂ (CERRI & CERRI, 2007). As perdas de carbono no solo oriundas das emissões de CO₂ em áreas de exploração agropecuária variam bastante com o tempo (SCHWENDENMANN et al., 2003; EPRON et al., 2006), sendo um fenômeno resultante de interações complexas com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como também com as condições climáticas da área (EPRON et al., 2006; KASPER et al. 2009; LAL, 2009; USSIRI & LAL, 2009; MOITINHO et al., 2013; SILVA-OLAYA et al., 2013).

O efluxo de CO₂ do solo é considerado um dos maiores componentes do ciclo do carbono da biosfera, portanto, é importante entender como ocorre a sua variação de acordo com as características climáticas do local, como temperatura e umidade do solo

(VALENTINI, 2004). Em áreas declivosas, as características físicas e químicas do solo podem variar ao decorrer dos diferentes níveis de declividade, isso ocorre devido aos efeitos da erosão hídrica que carreiam sedimentos das posições mais altas para as mais baixas, afetando assim a taxa de infiltração de água e o aumento do escoamento superficial (SANTOS et al., 2009; SANTOS & SALCEDO, 2010), sendo assim o relevo é um fator determinante para os valores de emissão de CO₂ do solo, assim como a cultura implantada na área (BRITO et al., 2009; KONDA et al., 2010).

Em solos desprovidos de cobertura vegetal a respiração é apenas heterotrófica, ou seja, através do metabolismo de organismos agregados ao substrato e compostos orgânicos (GRAF et al., 2010; HERBST et al., 2012). As culturas implantadas para a formação de pastagens apresentam um sistema radicular bem desenvolvido, são ricas em carbono orgânico e auxiliam na fixação de CO₂, com isso são grandes responsáveis pela estabilização do carbono no solo (FRANK et al., 2002).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o efluxo de C-CO₂ do solo em três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) de duas encostas sob pastagem de Braquiária (*Urochloa decumbens*) com diferentes idades (uma encosta sob pastagem com 20 anos de uso, e uma encosta sob pastagem com 2 anos de uso).

2.2. Objetivos Específicos

Avaliar a influência das posições (ombro, meia encosta e pedimento) de duas encostas sob pastagem, em distintos anos de implantação, no efluxo de C-CO₂.

Verificar se o efluxo de C-CO₂ varia entre as posições dentro das encostas em função da umidade do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Efluxo de CO₂

O solo é constituído de partes sólidas, líquidas e gasosas, onde está presente matéria viva e vegetação de cobertura, as quais podem ser modificadas por interferências antrópicas (EMBRAPA, 2006).

O CO₂ produzido na superfície do solo é de responsabilidade da atividade dos microrganismos na decomposição aeróbica da matéria orgânica e da respiração do sistema radicular das plantas, esta produção é considerada a respiração do solo (DIAS, 2006). Em solos com umidade e temperatura elevadas as condições são bastante propícias a produção e, conseqüentemente, emissão de CO₂ para a atmosfera, por favorecer a decomposição da matéria orgânica, a respiração dos sistemas radiculares e a atividade microbiana (DIAS, 2015). As alterações antrópicas que promovem impactos sobre os ecossistemas naturais também podem afetar a atividade microbiana do solo, sendo, uma das formas de diagnosticar essas alterações, mensurar as emissões de CO₂ do solo para a atmosfera (SOUTO et al., 2004)

O efluxo de CO₂ coletado na superfície do solo é considerado um dos métodos mais utilizados para quantificação da taxa respiratória do solo, porém respiração do solo e efluxo de CO₂ não são iguais (COELHO, 2005). Respiração do solo seria a produção do CO₂ a partir da oxidação da matéria orgânica, atividade microbiana e respiração de raízes, já o efluxo seria a liberação do CO₂ produzido para a atmosfera por meio do processo de difusividade (fluxo de gás para fora do solo), com o preenchimento dos espaços porosos do solo por água a disponibilidade de gases para os microrganismos é menor (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

O carbono do solo pode ser liberado em forma de CO₂, CH₄, entre outros compostos, porém o CO₂ é o mais importante, sendo o mais presente na queima da vegetação, na respiração das raízes e dos microrganismos do solo (SALIMON, 2003).

3.2. Influência da umidade do solo nas emissões de C-CO₂

As emissões de CO₂ sofrem alterações diárias, por isso, as condições climáticas são determinantes na intensidade dessas emissões, pois atuam diretamente sobre a temperatura e a umidade do solo, que são importantes controladores do processo de emissão, devido seus efeitos sobre a atividade microbiana e de raízes (TSAI et al., 1992). O aumento da umidade do solo acelera a decomposição da matéria orgânica, influenciando na emissão de CO₂, que reage exponencialmente (DAVIDSON et al., 2000).

Diversos autores estudaram a emissão de CO₂ em função da umidade e temperatura do solo, em áreas agrícolas e de florestas, e verificaram que as emissões de CO₂ podem variar tanto espacialmente como temporalmente (LA SCALA et al., 2010; SAVVA et al., 2013; KONCZ et al., 2015). Segundo Kanget al. (2000), a presença da cobertura vegetal em solos submetidos a manejos conservacionistas, contribuem para as mudanças no teor de água do solo, induzindo assim a heterogeneidade espacial ao afetar a capacidade de retenção de carbono, água e nutrientes. Por isso a variação na emissão de gases, por exemplo, o CO₂, de efeito estufa no solo tanto espacial quanto temporal é ainda maior, já que os gases são produzidos ou consumidos por uma ampla variedade de organismos (MOITINHO, 2017).

A umidade do solo, assim como as condições climáticas do local influenciam diretamente na taxa respiratória do solo (EKBLAD, 2001), podendo tanto favorecer quanto inibir as emissões de CO₂ (CHAVEZ, 2008), sendo assim, um solo com baixa disponibilidade de água pode reduzir a atividade microbiana, porém, uma umidade excessiva pode prejudicar a transferência de gases do solo para a atmosfera (PADRÃO, 2004).

Segundo estudos, a umidade do solo participa da avaliação da emissão de CO₂ participando do controle nos processos de produção (EPRON et al., 2006; LAL, 2009; CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012) e transporte (KANG et al., 2000), do CO₂ para a atmosfera.

3.3. Influência da textura na emissão de CO₂

Em áreas declivosas, há grande variabilidade de atributos físicos e químicos do solo, pois com a ocorrência de chuvas ocorre o carreamento de sedimentos das posições mais altas para as mais baixas (SANTOS et al., 2009; SANTOS & SALCEDO, 2010), o que implicará nos teores de matéria orgânica e na classificação textural das diferentes posições, causando variabilidade na concentração de cobertura vegetal e retenção de água no solo.

Atributos do solo como, umidade, temperatura, textura, densidade, porosidade, matéria orgânica, nutrientes, entre outros, podem ser determinados por fatores como a topografia, causando variabilidade espacial dos atributos citados (KANG et al., 2003; SOUZA et al., 2003a, b; SOUZA et al., 2004a, b, c, d; EPRON et al., 2006; KANG et al., 2006), com isso, a topografia e a granulometria vem sendo apontadas como fator controlador das variações espaciais da emissão de CO₂, podendo relacionar-se com a orientação e comprimento da encosta ou com a posição ao longo do gradiente topográfico (HANSON et al., 1993; KANG et al., 2003; FAHEY et al., 2005; EPRON et al., 2006; KANG et al., 2006; RISCH & FRANK, 2006). Para Braga et al. (2015) os solos que apresentam textura arenosa apresentam maior organização entre as partículas e são mais resistentes a forças externas, proporcionando assim condições favoráveis a atividade microbiana.

As intervenções agrícolas contribuem com diversas alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010; MOITINHO et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015). Um dos principais fatores que contribuem para emissão de CO₂ são a macro e microporosidade do solo (PANOSSO et al., 2011), sendo um dos mais afetados pelo manejo do solo (SOUZA, 2017), segundo Kay; Vandenbygaart (2002) a porosidade do solo afeta a infiltração, o acúmulo e a drenagem da água ao longo do perfil do solo, além de afetar o fluxo e a distribuição de ar no solo, contribuindo assim para as diversas alterações que ocorrem nas emissões de CO₂ do solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na microbacia hidrográfica de Vaca Brava (06°57'48" e 06°59'43" de latitude S e 35°44'03" e 35°45'59" de longitude O) (SANTOS e SALCEDO, 2010) que possui predominantemente dois tipos de uso do solo, uma área de reserva ecológica e outra de agropecuária familiar (794 ha), que juntas ocupam uma superfície de 1.500 ha-1 distribuídas entre os municípios de Areia/PB e Remígio/PB. A maior parte da microbacia, incluindo a reserva ecológica está localizada no município de Areia/PB, inserida na mesorregião do agreste e microrregião do brejo paraibano, com clima tropical chuvoso do tipo AS, quente e úmido. Pluviosidade média histórica anual, de 1.200 mm, com déficit hídrico de setembro a janeiro e um relevo ondulado a fortemente ondulado com temperatura média anual de 24°C e umidade relativa média de 80% (MASCARENHAS et al., 2005). Uma parte da microbacia está antropizada, explorada pela agricultura familiar, onde a principal atividade é a criação extensiva de animais (SANTOS et al., 2002) sem qualquer suporte técnico.

Os solos que predominam na microbacia são uma associação de Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico e Neossolo Litólico Eutrófico e, em menor proporção, o Neossolo Regolítico e o Latossolo Amarelo Distrófico (JACOMINE et al, 1972; EMBRAPA, 2006). Nas áreas com declividade mais acentuada o solo predominante é o Argissolo Vermelho Amarelo, que normalmente possui uma transição abrupta entre a camada superficial, com textura predominantemente arenosa, com a camada argilosa da subsuperfície (SANTOS et al., 2002).

4.2. Classificação e divisão das encostas

As distintas formas da encosta possuem o mesmo gênero e espécie de gramínea formadora do pasto, distintos graus de cobertura vegetal e a presença de pastejo por bovinos. As encostas foram divididas conforme suas características e idade de pastejo em encosta 1 e 2.

A encosta 1, com pastagem estabilizada, (localizada a 6°57'55,9" de latitude S e 35°46'14,4" de longitude O), inserida numa área de 13 ha, foi constituída de pastagem

de *Urochloa decumbens* estabelecida há cerca de 20 anos, após escarificação para descompactação do solo, seguida de uma aração para planeamento, não havendo semeadura de novas sementes, o estabelecimento da pastagem foi oriundo da germinação das sementes presentes no pasto incorporado ao solo.

A encosta 2, com pastagem recuperada, (localizada a 6°58'02,4" de latitude S e 35°46'11,7" de longitude O) apresenta forma convexa e está localizada em uma área de 8 ha. Que esteve sob pastagem por 20 anos, inicialmente pastagem de *Urochloa decumbens*, mas, devido à predominância da espécie invasora capim Lucas (*Sporobolus indicus. L.*), foi efetuada três gradagens na área, para morte da vegetação e planeamento do solo, com posterior calagem a lanço em área total, para elevação da saturação por bases a 70%, e a semeadura mecânica das sementes de *Urochloa decumbens*, cultivar Basilisk. Atualmente essa pastagem está no seu segundo ano de uso, após o replantio.

As variadas formas das topossequências resultam em diferentes declividades ao longo da paisagem do relevo, portanto Santos et al. (2002) dividiu as topossequências nas seguintes posições: topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea, sendo a encosta composta pelas posições do ombro, meia encosta e pedimento (Figura 1). No presente estudo, as encostas onde ocorreram as avaliações apresentam a posição do ombro, meia encosta e pedimento.

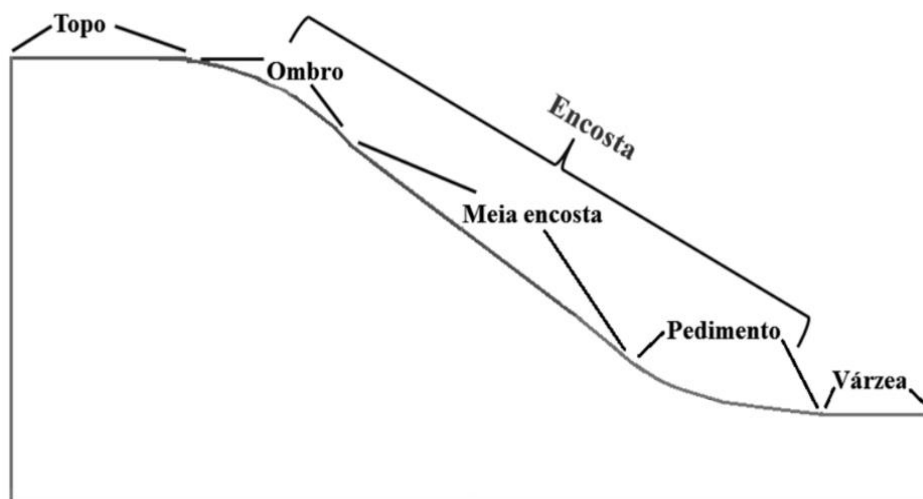


Figura 1. Posições do relevo na topossequência (Santos et al., 2002).

A encosta 1 e 2, possuem declividades semelhantes nas posições de avaliação, como podemos observar na Tabela 1.

Tabela 1. Declividade do relevo em cada posição avaliada, nas duas encostas.

Posições	Encosta 1 (60m)	Encosta 2 (52m)
Ombro	16%	18%
Meia encosta	21%	19%
Pedimento	16%	16%

4.3. Caracterização física e química do solo

Foram coletadas amostras de solo, até uma profundidade de 10 cm, com três repetições em cada posição das encostas (Encostas com 20 anos (E1) e 2 anos (E2) de implantação), para a caracterização física e química do solo. As amostras coletadas foram destinadas ao laboratório de Física do Solo do CCA-UFPB para caracterização física e para o laboratório de Matéria Orgânica do Solo também da mesma instituição, onde foram secas ao ar e peneiradas em peneiras com malha de 2 mm, para em seguida serem analisadas pela metodologia da Embrapa (1997), a densidade do solo foi determinada em campo com cilindro volumétrico para caracterização física e pH, bases trocáveis e acidez trocável (EMBRAPA, 1997), C orgânico total (SNYDER e TROFYMOW, 1984), fósforo e potássio extraíveis por Mehlich⁻¹ (EMBRAPA, 1997) para caracterização química.

4.4. Monitoramento da umidade do solo nas encostas

A umidade do solo foi monitorada em cada posição do relevo das encostas até a profundidade de 20 cm, por uma sonda de capacitância (modelo Diviner 2000®, da Sentek Pty Ltda, Austrália). A sonda apresenta um display com teclado e coletor de dados “datalogger” acoplado via cabo a uma haste que na sua extremidade apresenta o sensor (envolvido em plástico), que ao ser inserido no tubo de acesso no solo, provê automaticamente leituras do teor da umidade à medida que a sonda é inserida no tubo. Esta determinação usa a técnica da capacitância ou reflectometria no domínio da frequência (FDR), que tem como base a constante dielétrica do solo ou capacitância da matriz do solo (ar, água, solo), a qual é relacionada com a umidade volumétrica (Θ_v).

Para as medições, a sonda foi normalizada e os tubos de acesso foram inseridos no solo. A normalização é necessária por que não há exatidão nas leituras realizadas por

sondas diferentes, dada uma condição particular, como, por exemplo, água e ar (SENTEK, 2001).

Para normalizar as leituras (frequência), foram feitas medições dentro de um tubo de acesso suspenso no ar e dentro de um balde com água. Depois as leituras foram obtidas em tubos de acesso acomodados no solo. Quando combinadas estas três leituras são chamadas de frequência relativa, que são calculadas pelo aparelho usando a equação: $FR = (Fa - Fs)/(Fa - Fw)$, em que: Fa é a leitura da frequência no tubo de PVC (Policloreto de vinila) totalmente suspenso no ar, Fs é a leitura da frequência no tubo de PVC no solo e Fw é a leitura da frequência no tubo de PVC imerso em água.

A instalação dos tubos de acesso foi efetuada em uma linha reta, no sentido da inclinação, equidistantes 8 m uns dos outros, respeitando a divisão de cada posição na encosta (ombro, meia encosta e pedimento), dispondo sete tubos na mesma, sendo dois por posição e um tubo de transição entre as posições. Os tubos foram inseridos até 20 cm de profundidade no solo.

Para estimar a umidade no solo, usaram-se as curvas de calibração determinadas por Rebequi (2015) para a mesma encosta avaliada. Estas calibrações são necessárias pelas diferenças de textura e densidade do solo em profundidade e ao longo das posições das encostas. Diante desses dados e tendo a curva de calibração foi calculada a umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) até a profundidade de 20 cm.

4.5. Efluxo de C-CO₂

O efluxo de CO₂ do solo foi avaliado nas duas encostas em um estudo observacional utilizando um esquema fatorial 3x17 que correspondem a três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) da encosta sob pastagem a 20 anos e dezessete avaliações do efluxo, com três repetições, totalizando 153 amostras. Na encosta 2 com 45 tratamentos e um esquema fatorial 3x15, que correspondem a três posições (ombro, meia encosta e pedimento), sob pastagem de 2 anos e 15 avaliações do efluxo, com três repetições, totalizando 135 amostras. As diferenças no quantitativo de amostras se devem às dificuldades operacionais, em uma avaliação observacional, em pastagem com excesso de animais adulto, que incorreram em perda de duas datas de coletas na encosta 2.

As avaliações foram realizadas mensalmente, durante o ano de 2017 e meados de 2018. Esta atividade foi medida pela quantidade de CO₂ capturado na superfície do solo usando a metodologia de Jenkinson & Powlson (1976) adaptada por Ivo & Salcedo (2012). Este método consiste na captura do dióxido de carbono (CO₂) dentro de câmaras estáticas, por 40 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 Mol L⁻¹ contidos dentro de um recipiente durante 24 horas. As câmaras estáticas foram feitas a partir de um recipiente circular (Bacia com diâmetro de 22,3 cm e altura de 8 cm) ocupando uma área de 0,0391 m², com suas bordas voltadas ao solo, para proteger o NaOH no recipiente, do CO₂ presente na atmosfera. Os recipientes contendo o NaOH tinham área de 0,0154 m² e foram envoltos pela câmara.

O efluxo de CO₂ no campo consistiu dos seguintes passos: 1) Corte da parte aérea das plantas no local, com auxílio de tesoura; 2) Colocar o recipiente com a solução sobre o solo; 3) Cobrir o recipiente com a câmara estática (Bacia); 4) Cobrir totalmente a câmara estática com uma sacola plástica contendo areia, para evitar o fluxo de CO₂ da câmara para atmosfera. No tratamento controle (branco) o recipiente ficou tampado e protegido durante as 24 h em um saco plástico fechado, no entanto, o recipiente ficou exposto ao ar atmosférico pelo mesmo período dos demais tratamentos durante a colocação (≈ 5 segundos) e retirada (≈ 5 segundos) do recipiente, para retirar a contaminação com CO₂ atmosférico que ocorre durante esses procedimentos.

Completadas as 24 h, os recipientes foram retirados, tampados, armazenados, identificados e transportados até o laboratório de matéria orgânica do solo, onde a solução de NaOH foi transferida para recipientes fechados e armazenados na geladeira. O teor de C foi determinado por titulação Potenciométrica com ácido clorídrico (HCl) a 0,05 N (SAMPAIO & SALCEDO, 1982) e calculado usando a seguinte fórmula:

$$C\text{-CO}_2 \text{ (mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = (((VGT - VGB) * 0,05) * 12) * (VCR / VUT) * (AB / TH)$$

Onde:

VGT = Volume de HCl gasto na titulação da amostra; VGB = Volume de HCl gasto na titulação do branco; 0,05 = Normalidade do HCl utilizado na titulação; 12 = Massa molecular do carbono; VCR = Volume de NaOH contido no recipiente; VUT = Volume de NaOH titulado; AB = Área da câmara estática (Bacia); TH = Tempo em horas da captura do C-CO₂.

Após obtenção do efluxo em $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, foi feita uma relação matemática para transformação dos valores para $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os valores médios das três repetições foram submetidos à análise de variância e quando pertinente comparado às médias das posições pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo das encostas foi classificado quanto sua textura (Tabela 2), na qual a posição Pedimento apresentou textura arenosa nas duas encostas e maior valor de porosidade total, já as posições Ombro e Meia encosta são semelhantes na E1 e E2.

Tabela 2. Atributos físicos do solo, na camada de 0-0,20 m de profundidade, nas posições do ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas com pastagens com diferentes idades de estabelecimento.

Posição	AT	Silte	Argila	ADA	Ds	Dp	PT	Classificação Textural
	-----g kg ⁻¹ -----				-----g cm ⁻³ ----		%	
Encosta sob pastagem com 20 anos								
Ombro	652	71	277	19	1,59	2,59	39	Franco argilo arenoso
M. encosta	672	57	271	19	1,59	2,60	39	Franco argilo arenoso
Pedimento	777	67	157	13	1,52	2,58	41	Franco arenoso
Encosta sob pastagem com 2 ano								
Ombro	726	118	157	25,3	1,3	2,7	52	Franco arenoso
M. encosta	763	122	115	12,6	1,4	2,6	46	Franco arenoso
Pedimento	801	119	80	0,0	1,4	2,6	46	Areia Franca

AT = Areia total; ADA = Argila dispersa em água; Ds = Densidade do solo em campo (Método do anel); Dp= densidade de partícula; PT = Porosidade total $(1-(Ds/Dp)) \times 100$; Caracterização determinada pelo método da Embrapa (1997).

Devido sua textura arenosa, a posição Pedimento possui menor porosidade, porém possui poros maiores o que diminui a retenção de água e aumenta a circulação de água e gases no solo. Já as outras posições possuem mais argila, o que proporciona maior retenção de água e por isso uma maior estabilidade na umidade do solo.

Quanto à caracterização química, o solo das duas encostas possuem características semelhantes nas três posições de ambas as encostas (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização química do solo, na camada de 0-20 cm de profundidade, nas posições do ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas com pastagens com diferentes idades de estabelecimento.

Posição	pH ¹	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	COT
		-----mg kg ⁻¹ -----			-----cmol _c kg ⁻¹ -----				g kg ⁻¹
Encosta sob pastagem com 20 anos									
Ombro	5,43	2,45	104	4,93	0,53	0,48	6,27	0,43	14,4
M. encosta	5,40	2,23	69,3	6,91	0,47	0,47	5,72	0,53	13,8
Pedimento	5,83	3,40	399	8,32	0,30	0,43	4,12	0,23	9,40
Encosta sob pastagem com 2 anos									
Ombro	5,45	2,62	74,2	2,89	0,40	0,35	5,72	0,50	12,0
M. encosta	5,43	1,99	78,2	4,13	0,33	0,33	5,22	0,53	7,90
Pedimento	6,42	4,80	198	9,86	0,67	0,13	3,63	0,13	11,4

⁽¹⁾ pH determinado em água (1:2,5); pH, Ca, Mg, H⁺+Al, Al; Na, K e P (extraíveis por mehlich-1), foram determinadas pela metodologia da Embrapa (1997); COT (SNYDER & TROFYMOW, 1984).

Os valores médios dos teores de C-CO₂ e umidade do solo em cada posição da encosta (Ombro, meia encosta e pedimento) da Encosta 1, a qual possui uma pastagem estabilizada e em uso a cerca de 20 anos, estão representados na Figura 2. É possível observar que a tanto a umidade quanto o efluxo de C-CO₂ variam ao longo da encosta, sendo que os maiores valores de efluxo estão presentes na posição do Pedimento, onde também estão presentes os menores valores de umidade do solo.

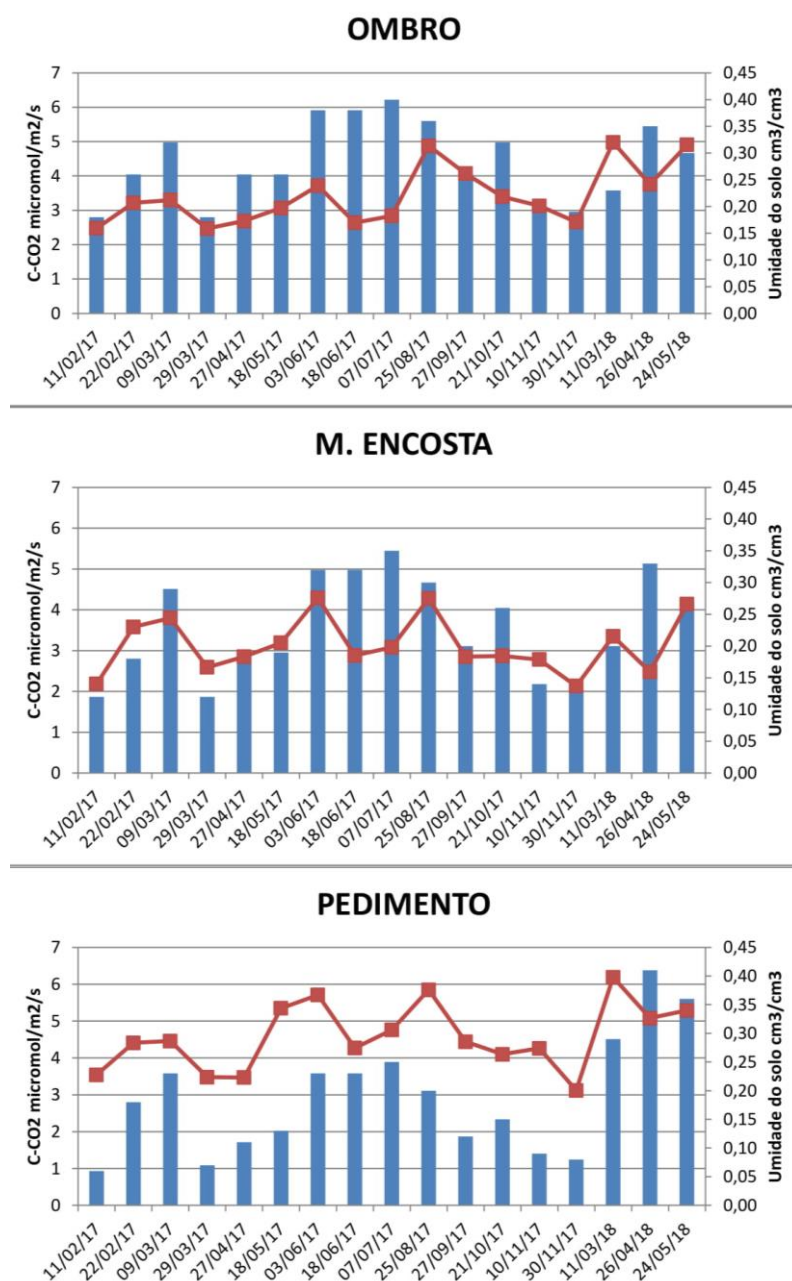


Figura 2. Efluxo de C-CO₂ e umidade do solo em diferentes posições ao longo da Encosta 1, onde os valores médios de efluxo são representados pela linha de tendência e os valores médios de umidade pelas colunas.

Semelhante a Encosta 1, na Encosta 2 os maiores valores de efluxo e os menores valores de umidade ao longo da encosta estão presentes no Pedimento (Figura 3). A umidade do solo na Encosta 2 é menos estável pois, o solo nesta encosta possui maior teor de areia.

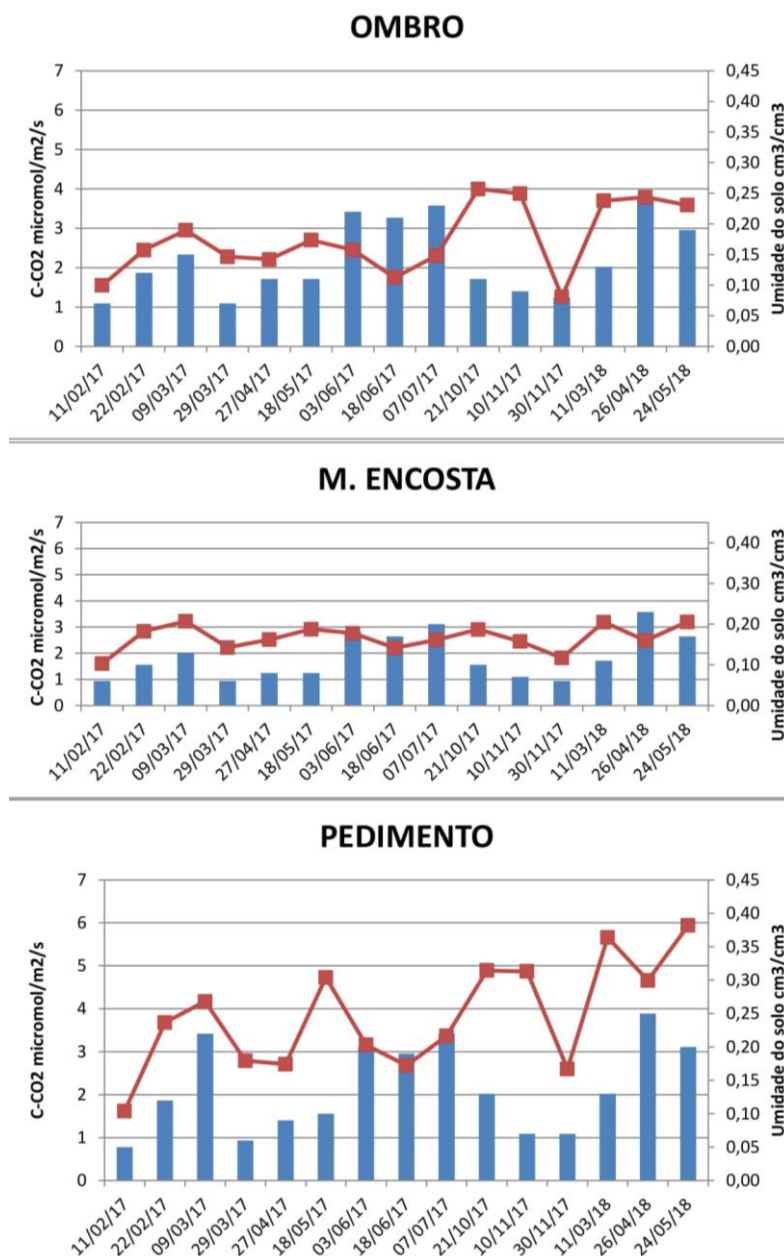


Figura 3. Efluxo de C-CO₂ e umidade do solo em diferentes posições ao longo da Encosta 2, onde os valores médios de efluxo são representados pela linha de tendência e os valores médios de umidade pelas colunas.

A umidade do solo pode ser um fator determinante para o efluxo de C-CO₂, podendo tanto beneficiar como impedir a produção e emissão de CO₂, existindo uma umidade ótima para maximização da respiração (CHAVEZ, 2008).

Em seus resultados, Souza et al., (2017) observou que a umidade do solo foi o fator que exerceu maior influência sobre o efluxo de CO₂, percebendo que o aumento do efluxo de CO₂ aumenta com o aumento da umidade até um certo valor ideal, após esse limite os valores de CO₂ tendem a diminuir.

A variação no efluxo de CO₂ do solo na encosta 2, com pastagem de 2 anos, mostrou correlação positiva significativa ($p \leq 0,01$) (Tabela 4) com a umidade do solo, ou seja, existe uma forte associação entre essas duas variáveis. Indicando que com o aumento dos valores de umidade do solo (causa), haverá uma redução do efluxo (efeito). No entanto, não houve correlação significativa ($p \leq 0,01$) entre a umidade do solo e o efluxo de CO₂ na encosta 1, que possui pastagem com 20 anos de cultivo, o que indica baixa relação entre essas variáveis, demonstrando que nessa condição, as variações no teor de umidade do solo, não incidiram em variação no efluxo.

Tabela 4. Correlação entre as variáveis Efluxo C-CO₂ e Umidade do solo das encostas 1 e 2 sob pastagem a 20 anos e a 2 anos, respectivamente.

ENCOSTA 1		
Variáveis (E1)	Umidade do Solo	C-CO ₂
U. Solo	1	0,1540 ^{ns}
C-CO ₂	-	1
ENCOSTA 2		
Variáveis (E2)	Umidade do Solo	C-CO ₂
U. Solo	1	0,2520**
C-CO ₂	-	1

**Significativa a 1% de probabilidade pela correlação de Pearson; ^{ns} Não significativo pela correlação de Pearson.

A umidade por muitas vezes favorece a atividade dos microrganismos do solo e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, porém o excesso de umidade causa uma barreira para a troca de CO₂ e O₂, o que dificulta a movimentação dos gases nos poros provocando uma queda no efluxo (EDWARDS, 1975).

Na tabela 5, observa-se que pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) na encosta 1 a umidade do solo é diferente nas três posições, porém o efluxo é igual nas posições Ombro e Meia encosta, sendo maior no Pedimento, porém na encosta 2, a umidade é igual em todas as posições e o efluxo é diferente apenas no Pedimento.

Tabela 5. Comparação entre médias de umidade do solo e efluxo de C-CO₂ para três posições em encostas.

ENCOSTA 1		
POSICÕES	VARIÁVEIS	
	UMIDADE DO SOLO	C-CO ₂
OMBRO	0,2836a*	3,78b
M. ENCOSTA	0,2317b	3,45b
PEDIMENTO	0,1877c	5,01a

ENCOSTA 2		
POSICÕES	VARIÁVEIS	
	UMIDADE DO SOLO	C-CO ₂
OMBRO	0,1410a	2,72b
M. ENCOSTA	0,1189a	2,59b
PEDIMENTO	0,1406a	3,84a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Na tabela 6, é possível observar que os maiores valores de efluxo estão na posição onde se encontra a maior quantidade de areia, que nas duas encostas é a posição do Pedimento, sendo as emissões das posições ombro e meia encosta estatisticamente iguais

Tabela 6. Comparação entre médias de efluxo de C-CO₂ e textura do solo (areia, silte e argila) para três posições em encostas.

ENCOSTA 1				
POSICÃO	C-CO ₂	AREIA	SILTE	ARGILA
OMBRO	3,78	652b*	71b	277b
M. ENCOSTA	3,45	672b	57b	271b
PEDIMENTO	5,01	777a	67a	157a

ENCOSTA 2				
POSICÃO	C-CO ₂	AREIA	SILTE	ARGILA
OMBRO	3,78	726b	118b	157b
M. ENCOSTA	3,45	763b	122b	115b
PEDIMENTO	5,01	801a	119a	80a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

No solo, gases e água competem pelo mesmo espaço poroso, ou seja, quando os poros estão preenchidos por água a disponibilidade de gases é menor (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Em solos argilosos, há maior retenção de água, o que mantém os poros preenchidos com água por mais tempo, sendo assim há uma redução na emissão de CO₂.

Além da umidade do solo, a textura também pode ser um fator limitante nas emissões de CO₂ do solo, em solos com altos teores de argila o teor de carbono ocluído no interior dos agregados do solo é bastante elevado (IKOLBL & KOGEL-KNABNER, 2004), com isso, solos arenosos tem menor capacidade de proteção e maior teor de C não protegido no solo (PLANTE et al., 2006).

Nas duas encostas o comportamento é semelhante (Figura 4), nas posições onde há maior quantidade de areia as emissões de CO₂ são mais elevadas, principalmente a Encosta 2 que possui maiores valores de areia e menores de argila se comparada a Encosta 1.

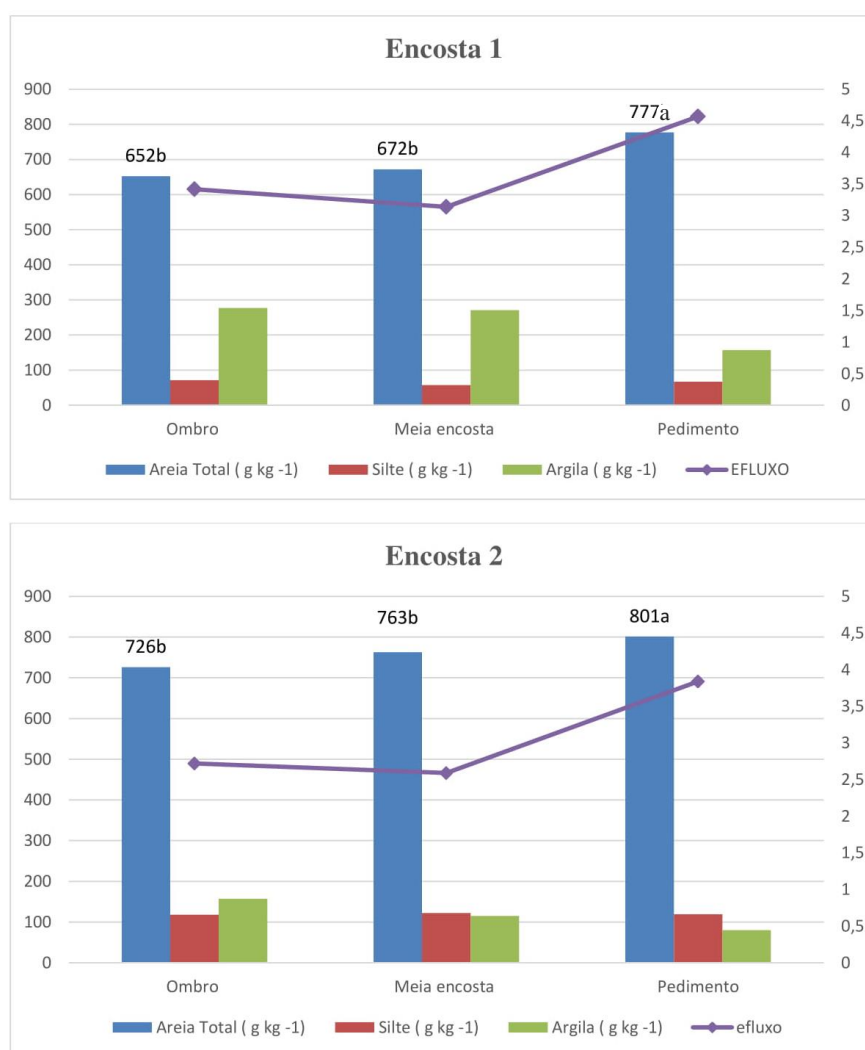


Figura 4. Teores de Areia, Silte e Argila presentes nos solos da Encosta 1 e Encosta 2 (colunas) e valores médios de efluxo de CO₂ em cada posição (linha de tendência).

Em solos que apresentam textura arenosa, há uma maior quantidade de macroporos e consequentemente maior aeração, e como no solo tem-se uma maior quantidade de CO₂ em relação ao O₂, esses solos apresentam uma maior facilidade na difusão do gás (CO₂). De acordo com Luchiesse et al. (2001) a maior ou menor quantidade de microporos e macroporos de um solo, depende de sua textura.

6. CONCLUSÕES

O excesso de água acumulada no solo nas posições mais altas das duas encostas (Ombro e Meia Encosta) impediu a emissão de gases do solo para a atmosfera.

Os maiores valores de efluxo de CO₂ foram no Pedimento nas duas encostas, podendo ser devido a posição possuir os maiores teores de areia, o que facilita a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera.

7. REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press. 1995.
- BRAGA, F. V. A. et al. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequência Argissolo-Gleissolo: Variação no perfil e efeito de compressão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 39, n. 39, p. 1025-1035, 2015.
- BRITO, L. F. et al. Soil CO₂ emission of sugarcane field as affected by topography. ScientiaAgricola, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 77–83, 2009.
- BRITO, L. F. et al. Spatial variability of soil CO₂ emission in different topographic positions. Bragantia, v. 69, p. 19-27, 2010.
- CARBONELL-BOJOLLO, R. M. et al. Influence of soil and climate conditions on CO₂ emissions from agricultural soils. Water, Air, & Soil Pollution, v. 223, n. 6, p. 3425-3435, 2012.
- CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 1, p. 40-44, 2007.
- CHAVEZ, L. F. et al. Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul. 2008.

- COELHO, M. M. Estudo da respiração do solo em floresta de transição no sudoeste da Amazônia. 2005. Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. 51p.
- D'ANDREA, A. F. et al. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 62, p. 85, 2010.
- DAVIDSON, E. A. et al. Effects of soil water content on soil respiration in forest and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, v. 48, n. 1, p. 53-69, 2000.
- DIAS, J. D. Fluxo do CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DIAS, M. Dinâmica do Efluxo de CO₂ no solo em duas áreas de composições Fitofisionômicas Distintas. (Dissertação). 2015.
- EDWARDS, N. T. Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. *Soil Science Society America Proceedings*, Knoxville, v.39, n.2, p.361-5, 1975.
- EKBLAD, A.; HÖGBERG, P. Natural abundance of ¹³C in CO₂ respired from forest soils reveals speed of link between tree photosynthesis and root respiration. *Oecologia*, v. 127, n. 3, p. 305-308, 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, p. 212, 1997.
- EPRON, D. et al. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. *Journal of Tropical Ecology*, v. 22, n. 5, p. 565-574, 2006.
- FAHEY, T. J. et al. The biogeochemistry of carbon at Hubbard Brook. *Biogeochemistry*, v. 75, n. 1, p. 109-176, 2005.
- FRANK, A. B. Carbon dioxide fluxes over a grazed prairie and seeded pasture in the Northern Great Plains. *Environmental Pollution*, v. 116, n. 3, p. 397-403, 2002.
- GRAF, A. et al. Temporal downscaling of soil CO₂ efflux measurements based on time-stable patterns. *Vadose Zone Journal*, Madison, v. 10, n. 1, p. 239–251, 2010.
- GRAF, A. et al. Temporal downscaling of soil CO₂ efflux survey measurements based on time-stable spatial patterns. In: EGU General Assembly Conference Abstracts. 2009. p. 9064.
- HANSON, P. J. et al. Seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. *Tree physiology*, v. 13, n. 1, p. 1-15, 1993.
- HERBST, M. et al. A geostatistical approach to the field-scale pattern of heterotrophic soil CO₂ emission using covariates. *Biogeochemistry*, v. 111, n. 1-3, p. 377-392, 2012.

IAMAGUTI, J. L. et al. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 19, p. 497–504, 2015.

JACOMINE, P. K. T. et al. F. R. I - Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: MA-Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15; Brasil-SUDENE-DRN). Série Pedologia, Rio de Janeiro, 683p. 1972.

JENKINSON, D. S. & POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.*, 8:167-177, 1976.

KANG, S. et al. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 136, n. 3, p. 173-184, 2000.

KANG, S. et al. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. *Global Change Biology*, v. 9, n. 10, p. 1427-1437, 2003.

KASPER, M. et al. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil and Tillage Research*, v. 105, n. 2, p. 192-199, 2009.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 66, p. 107-118, 2002.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.) *Encyclopedia of Environmental Microbiology*. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 3116-3126.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. *Encyclopedia of Environmental Microbiology*, 2003.

KONCZ, P. et al. Higher soil respiration under mowing than under grazing explained by biomass differences. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 103, n. 2, p. 201–215, 2015.

KONDA, R. et al. Seasonal changes in the spatial structures of N₂O, CO₂, and CH₄ fluxes from Acacia mangium plantation soils in Indonesia. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1512–1522, 2010.

LA SCALA N. et al. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 91, p. 244–248, 2006.

LA SCALA, N. et al. Spatial and temporal variability in soil CO₂–C emissions and relation to soil temperature at King George Island, maritime Antarctica. *Polar Science*, Amsterdam, v. 4, n. 3, p. 479–487, 2010.

LUCHIESSE, E. B. et al. Fundamentos da Química do Solo, 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Freitas Basto Editora, 2001. 182 p.

MASCARENHAS, J. C. et al. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Areia, estado da Paraíba. CPRM/PRODEEM. Recife. 11p. 2005.

MOITINHO, M. R. et al. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 1720-1728, 2013.

MOITINHO, M. R. Variabilidade da emissão de CO₂ do solo sob diferentes manejos em áreas de cana-de-açúcar. 2017. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo (2002). Editora UFLA, Lavras.

PADRÃO, M. J. Reabilitação de solos contaminados com produtos utilizando técnicas agrárias. 2004, 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2004.

PANOSSO, A. R. et al. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 111, p. 190–196, 2011.

PLANTE, A. F. et al. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. Soil Sci. Soc. Am. J., 70:287-296, 2006.

POWLSON, D. S. et al. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biology & Biochemistry, Oxford, v. 19, p. 159-164, 1997.

POWLSON, D. S. et al. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil biology and biochemistry, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.

RATTAN, L. A. L. Challenges and opportunities in soil organic matter research. European Journal of Soil Science, v. 60, n. 2, p. 158-169, 2009.

REBEQUI, A. M. Dinâmica da água, do carbono e da produtividade em encosta sob pastagem. 2015, 54 p. II. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015.

RISCH, A. C.; FRANK, D. A. Carbon dioxide fluxes in a spatially and temporally heterogeneous temperate grassland. Oecologia, v. 147, n. 2, p. 291-302, 2006.

RYAN, M. G.; LAW, B. E. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. Biogeochemistry, v. 73, n. 1, p. 3-27, 2005.

- SALIMON, C. I. Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Ocidental, Acre. Unpublished PhD Thesis, Centro de Energia Nuclear na Agricultura—Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil, 2003.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Decomposição de palha marcada e incorporação de ¹⁴-C a biomassa microbiana de um Latossolo vermelho-amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 6: 29-32, 1982.
- SANTOS A. C. et al. Influência do uso e da posição do perfil no relevo na fertilidade de solos em áreas de encosta. Pes. Agrop. Trop., 39: 1, 31-37, 2009.
- SANTOS, A. C. et al. Influência do uso e da posição do perfil no relevo na fertilidade de solos em áreas de encosta. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 39, n. 1, p. 31-37, 2009.
- SANTOS, A. C. et al. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. R. Bras. Cart., 54: 1, 86-94, 2002.
- SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H. Relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. Revista Árvore, v. 34, n. 2, 2010.
- SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H. Relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. Revista Árvore, 2010.
- SAVVA, Y. et al. Spatial patterns of soil moisture under forest and grass land cover in a suburban area, in Maryland, USA. Geoderma, Amsterdam, v. 192, p. 202–210, 2013.
- SCHWARTZ, R. C. et al. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. Soil & Tillage Research, v. 110, p. 221–229, 2010.
- SCHWENDENMANN, L. et al. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. Biogeochemistry, v. 64, n. 1, p. 111-128, 2003.
- SENTEK. Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors. 2001.
- SILVA, R. R. D. et al. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 34, p. 1585-1592, 2010.
- SILVA-OLAYA, A. M. et al. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. Environmental Research Letters, v. 8, n. 1, p. 015014, 2013.
- SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. Soil Sci. Plant Anal., 15:587-597, 1984.
- SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2006.

SOUTO, P. C. et al. Comparação do fluxo de CO₂ entre áreas de plantio de sombreiro (*Elitoriafairchildiana*) e de acerola (*Malpighiaglabra*L.). In: FERTBIO, 26, 2004, Lages. Anais... Lages: UDESC e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

SOUZA, C. K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 1067-1074, 2003.

SOUZA, G. N. B. et al. Influência da umidade do solo sobre a variação do efluxo de CO₂ do solo na floresta nacional de Caxiuanã-PA. In: Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 10., 2017, Santa Maria, RS.[Anais].[Santa Maria: UFSM, 2017].

SOUZA, L. C. Emissão de CO₂ do solo associada à escarificação em latossolo e em argissolo. 2017. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Jaboticabal, 2017.

SOUZA, Z. M. et al. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. Irriga, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2004.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 5, p. 491-499, 2004.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, p. 309-319, 2004.

TSAI, S. M. et al. Microbiologia do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Campinas, 1992. 360p.

USSIRI, D. A. N.; RATTAN, L. A. L. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. Soil and Tillage Research, v. 104, n. 1, p. 39-47, 2009.

VALENTINI, C. M. A. Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

VALENTINI, C. M. A. et al. Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso. Profiscientia, n. 2, 2006.

VINCENT, G. et al. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. Soil Biology and Biochemistry, v. 38, n. 9, p. 2527-2535, 2006.